



OrderPatent

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 07057089 A

(43) Date of publication of application: 03.03.1995

(51) Int. Cl. G06T 7/00
G06F 17/50

(21) Application number: 05200566

(22) Date of filing: 12.08.1993

(71) Applicant: TOSHIBA CORP

(72) Inventor: WADA TAKASHI
SUZUKI KAORU
NAKAMURA TATSURO

(54) SHAPE RESTORING DEVICE

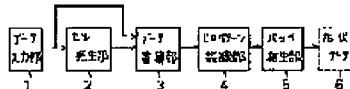
(57) Abstract:

PURPOSE: To eliminate the constraint of the measuring order of a three-dimensional coordinate value and to obtain surface shape data also for a complicated shape object with high accuracy by making the three-dimensional coordinate value obtained by observing an object to be measured correspond to each voxel data where a geometric phase relation is known.

CONSTITUTION: A data storage part 3 performs the correspondence between the range data inputted in a data input part 1 and the voxel data prepared in a cell generation part 2, determines the average of the coordinate values plural number of the range data which

is made to correspond to voxel data and defines the range data having the value as a new range data corresponding to voxel data. A cell pattern recognition part 4 determines the relation decided by depending on whether each voxel data is made to correspond to range data or not between eight adjacent voxel data. A patch generation part 5 generates a triangle patch based on the phase geometric relation between eight adjacent voxel data determined by the recognition part 4.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



OrderPatent

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-57089

(43) 公開日 平成7年(1995)3月3日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	片内整理番号	P I	技術表示箇所
G 0 6 T 7/00				
G 0 6 F 17/50		9287-5L	G 0 6 P 15/ 62	4 1 6
		7623-5L	15/ 60	4 0 0 A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

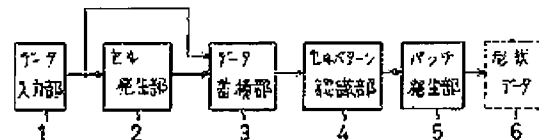
(21) 出願番号	特願平5-200566	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
(22) 出願日	平成5年(1993)8月12日	(72) 発明者	和田 隆 大阪府大阪市北区大淀中1丁目1番30号 株式会社東芝関西支社内
		(72) 発明者	鈴木 薫 大阪府大阪市北区大淀中1丁目1番30号 株式会社東芝関西支社内
		(72) 発明者	中村 遼郎 大阪府大阪市北区大淀中1丁目1番30号 株式会社東芝関西支社内
		(74) 代理人	弁理士 則近 憲佑

(54) 【発明の名称】 形状復元装置

(57) 【要約】

【目的】 3次元CADやコンピュータグラフィックスにおいて、複雑な形状の被測定物体に対して表面形状データが高精度で得られ、3次元座標値の測定方法に制限の無い形状復元装置を提供すること。

【構成】 被測定物体を観測して得られた表面3次元座標値を格子状に空間を分割して得られた各ボクセルデータに対して対応付けを行ない、各ボクセルデータに対応付けした表面3次元座標値から1つのレンジデータを求め、空間的に隣接する所定数のボクセルデータ間の位相幾何学的関係を求めることにより、三角パッチとしての形状データを決定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定物体の表面形状の3次元座標値を入力するためのデータ入力部と、このデータ入力部より入力された全ての3次元座標値を完全に覆う空間を格子状に分割したボクセルデータを作成するセル発生部と、このセル発生部により作成された各ボクセルデータに対し該当する前記3次元座標値を用いて夫々1個のレンジデータを求めるデータ蓄積部と、3次元的に隣接した所定数のボクセルデータ毎に夫々のレンジデータに従って位相幾何学的関係を求めるセルパターン認識部と、このセルパターン認識部により求められた位相幾何学的関係に従って前記所定数のボクセルデータ毎に三角パッチを作成し、この三角パッチ群に対して前記所定数のボクセルデータ同士の隣接面上に位置する不要な三角パッチを除去して形状データとするパッチ発生部とを具備したことを特徴とする形状復元装置。

【請求項2】 セル発生部は、入力された3次元座標値からX軸方向、Y軸方向、Z軸方向夫々について最大値及び最小値を求め、これら8点を頂点とする空間に対しX軸方向、Y軸方向、Z軸方向夫々について所定数で分割することによりボクセルデータを作成するものである請求項1記載の形状復元装置。

【請求項3】 データ蓄積部は、ボクセルデータに3次元座標値が1個含まれる場合はこれを対応するレンジデータとし、ボクセルデータに3次元座標値が複数含まれる場合はこの平均座標値を対応するレンジデータとし、ボクセルデータに3次元座標値が含まれない場合は対応するレンジデータが無いものとする請求項1記載の形状復元装置。

【請求項4】 データ蓄積部は、ボクセルデータにレンジデータが対応付けられている場合は当該ボクセルデータの属性値を1とし、ボクセルデータにレンジデータが対応付けられていない場合は当該ボクセルデータの属性値を0とするものである請求項3記載の形状復元装置。

【請求項5】 セルパターン認識部は、隣接する8個のボクセルデータから成る論理的六面体毎に各ボクセルデータの属性値の組合せに従ってパターン照合するものである請求項4記載の形状復元装置。

【請求項6】 パッチ発生部は、前記論理的六面体において属性値が1のボクセルデータの数が3以上の場合に、属性値が1の各ボクセルデータ間で閉じた多面体を構成するように当該ボクセルデータのレンジデータを頂点とした三角パッチを生成するものである請求項5記載の形状復元装置。

【請求項7】 パッチ発生部は、前記論理的六面体同士で三角パッチを境界として且つ当該三角パッチが前記論理的六面体内の他の三角パッチにより隠れる場合に当該三角パッチを削除し、或いは前記論理的六面体同士で夫々の三角パッチが重複した境界として隣接する場合に一方の三角パッチを削除するものである請求項6記載の形

状復元装置。

【請求項8】 被測定物体の表面形状の3次元座標値を入力するためのデータ入力部と、このデータ入力部より入力された全ての3次元座標値を完全に覆う空間を格子状に分割したボクセルデータを作成するセル発生部と、このセル発生部により作成された各ボクセルデータに対し該当する前記3次元座標値を用いて夫々1個のレンジデータを求めるデータ蓄積部と、3次元的に隣接した所定数のボクセルデータ毎に夫々のレンジデータに従って位相幾何学的関係を求めるセルパターン認識部と、このセルパターン認識部により求められた位相幾何学的関係に従って前記所定数のボクセルデータ毎に三角パッチを作成し、全ての三角パッチ群において所定の三角パッチの各辺に対して1辺を共有すると共に向きが同調した三角パッチを1個ずつ連結し、連結先の三角パッチの未連結の辺に対して同様の連結処理を繰り返すことにより、各辺が未連結の三角パッチを除去するパッチ発生部とを具備したことを特徴とする形状復元装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、被測定物体を観測して得られた表面3次元座標値から表面形状を復元するための形状データを得る形状復元装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、工業部品などの設計を支援するための3次元CADや、コンピュータグラフィックスを用いた映像作成のニーズが急速に高まっている。これらの技術においては、設計、または、コンピュータグラフィックス表示を行なう対象の幾何形状、表面属性、及び動きのデータを計算機に入力することが必要である。（この過程をモデリングと呼び、計算機内部に表現された数値データをモデルと呼ぶ。）この部分は、現在人間が多くの労力を費やして行っており、自動化が強く望まれている。

【0003】最近、3次元CADへの適用のために、レンジファインダと呼ばれる距離画像装置を用いて、显示した対象の形状の自動入力を行なうシステムが提案されている。レンジファインダは、対象物体の離散的な表面3次元座標値だけしか測定することができないので、形状の復元を行なうには表面3次元座標値間に幾何的位相情報を加えて面を発生させなければならない。このように作成された数値データを形状モデルと呼ぶ。現在提案されている手法は、測定順序を基にして表面3次元座標値間に幾何的な順序づけを行い、幾何的位相関係を得ている。図22はレンジファインダを用いた従来手法の概略を示すものである。被測定物体50は回転台52上に置かれており、レンジファインダ49に対する向きを回転台52を回転することにより任意に変えることができる。レンジファインダ49は、回転台52の回転軸方向に向いており、設定位置を固定してある。レンジファイ

ンダ49による測定は、被測定物体50のある向きに対して投影像51のように縦方向に対して1走査のみ行なわれる。この測定を、回転台52を $\Delta\theta$ ずつ回転させて360°/ $\Delta\theta$ 回行なう。この様にして測定される表面3次元座標値間には、縦方向と θ 方向の2次元空間において幾何的位相情報が付加されることになり、この情報を基にして被測定物体50の形状復元は容易になる。しかし、レンジファインダ49は常に回転台52の回転軸方向を向いており、被測定物体50自身が影になってレンジファインダ49から測定できないオクルージョン領域が発生してしまう。例えば被測定物体が人形である場合、その腕によって隠れた領域がオクルージョン領域となる。このとき、人形を回転台上で回転させることにより腕の表面の3次元座標値（非オクルージョン領域）と腕の下側のオクルージョン領域を測定することは可能であるが、これらをどの様に関係付けて形状復元データとするかが非常に難しいという欠点があった。よって、この手法で測定できる物体は、被測定物体50自身によりオクルージョン領域が発生しないような単純な形状に限定される。また、横方向からの測定だけでは十分にデータが得られない被測定物体50の上方、下方の測定を、被測定物体50を置き換えることにより行なうと、横方向、上方、下方の各方向に対するデータ間の幾何的位相関係を求めるのは非常に難しい問題である。

【0004】更に、サイエンティフィック・ビジュアルイゼーション分野において、計測データや計算結果データなどのボリュームデータを可視化するマーチングキューブ法（以下、MC法と呼ぶ。）が知られている。MC法は、ボリュームデータから等値面を抽出し、等値面を三角パッチ群で近似構成する手法である。例えば医用画像分野において人体の断層像を所定間隔で複数枚撮像した場合、隣接する画像間で画素値に従って等値面を抽出するものである。ここで、レンジファインダにより得られた対象物体上の表面3次元座標値に対してこの手法を用いると、データ間に幾何的位相関係が未知であっても表示可能な形状データを得ることができる。しかし、等値面を三角パッチ群で近似構成する際に三角パッチの各頂点の位置を補間により決定しているため、必ずしも、測定した表面3次元座標値を通る三角パッチが生成されるとは限らない。よって、レンジファインダから得られた高精度の表面3次元座標値が、復元された形状データに忠実に反映されない。この事は、精度が重要なCAD分野にとっては深刻な問題である。また、コンピュータグラフィックス分野においても、対象物体の形状ができるだけ忠実に復元されることが望ましい。

【0005】上記の理由により、従来提案されている手法は、3次元CADやコンピュータグラフィックスのための形状モデルを自動作成する目的には未だ不十分だと考えられる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】以上述べた様に従来の形状復元装置において、レンジファインダを用いた場合は被測定物体が単純な形状のものに限定されてしまい、MC法を用いた場合は高精度の表面形状データが得られないため、各々にしても3次元CAD等のための形状モデルを自動作成するには不十分であった。

【0007】本発明の目的は、3次元CADやコンピュータグラフィックスにおいて、複雑な形状の被測定物体に対しても表面形状データを高精度に復元できると共に表面3次元座標値の測定方法に制限の無い形状復元装置を提供することになる。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、被測定物体の表面形状の3次元座標値を入力するためのデータ入力部と、このデータ入力部より入力された全ての3次元座標値を完全に覆う空間を格子状に分割したボクセルデータを作成するセル発生部と、このセル発生部により作成された各ボクセルデータに対し該当する前記3次元座標値を用いて夫々1個のレンジデータを求めるデータ整備部と、3次元的に隣接した所定数のボクセルデータ毎に夫々のレンジデータに従って位相幾何学的関係を求めるセルパターン認識部と、このセルパターン認識部により求められた位相幾何学的関係に従って前記所定数のボクセルデータ毎に三角パッチを作成しこの三角パッチ群に対して前記所定数のボクセルデータ同士の隣接面上に位置する不要な三角パッチを除去して形状データとするパッチ発生部とを具備したことを特徴とするものである。

【0009】

【作用】本発明においては、被測定物体を観測して得られた表面3次元座標値から表面形状を復元するものであって、表面3次元座標値を格子状に空間を分割して得られた各ボクセルデータに対して対応付けを行ない、各ボクセルデータに対応付けした表面3次元座標値が1つのレンジデータを求め、空間的に隣接する所定数のボクセルデータ間の位相幾何学的関係を夫々のレンジデータから求める事により三角パッチとしての形状データを決定する。つまり本発明では、表面3次元座標値を入力するときの測定方法の順序付けが必要無いと共に、表面3次元座標値間に幾何的位相関係が未知であっても、幾何的位相関係が既知であるボクセルデータに対して表面3次元座標値を対応づけることにより、形状の復元が容易にできる。さらに、ボクセルデータの大きさを変えることによって、測定結果の表面3次元座標値を忠実に反映した高解像度形状データからデータ量が少ない低解像度形状データまで、所望の形状データを作成できる。

【0010】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。図1は本発明の実施例装置の概略構成を示す図、図2は本発明の実施例の処理内容を説明する図、図3は本発明の実施例の処理フローチャートである。

【0011】図1及び図3において、データ入力部1は被測定物体を観測することにより得られたレンジデータを入力する(ステップ101)。セル発生部2はデータ入力部1で入力されたレンジデータを完全に覆うような空間をボクセル分割法で等分割して得られたボクセルデータを作成する(ステップ102)。データ蓄積部3はデータ入力部1で入力されたレンジデータとセル発生部2で作成されたボクセルデータ間の対応づけを行ない、ボクセルデータに対応づけされた複数のレンジデータの座標値の平均を求め、その値を持つレンジデータを新たにボクセルデータに対応する1個のレンジデータとする(ステップ103、104)。セルパターン認識部4は各ボクセルデータがレンジデータと対応づけがなされているか否かにより判定される関係を8個の隣接するボクセルデータ間について求める(ステップ105)。パッチ発生部5はセルパターン認識部4で求められた8個の隣接ボクセルデータ間の位相幾何学関係に基づき三角パッチを発生する(ステップ106)。形状データ6はすべてのボクセルデータについてパッチ発生部5の処理を行なった結果として三角パッチ群である(ステップ107)。

【0012】図2において、7は測定物体を観測して得られた観測レンジデータ、8は観測レンジデータ7を完全に覆うような空間をボクセル分割法で等分割することにより得られたボクセルデータ、9は処理結果として得られる三角パッチデータである。観測レンジデータ7からボクセルデータ8を作成することにより、観測レンジデータ7に幾何的な位相関係を持たすことができ、単純な処理によりCG表示可能な三角パッチデータ9を作成できるようになっている。

【0013】以下、図19各構成部について詳細に説明する。データ入力部1は、図4に示すように被測定物体13の表面上において未観測部分が無いように、レンジファインダ10、11、12で複数方向から観測されて得られた観測レンジデータ14が入力される。

【0014】図5は、セル発生部2で行なわれる処理の概略を示すものである。セル発生部2では、データ入力部1で入力された観測レンジデータ15の全ての座標値を参照してx軸方向、y軸方向、z軸方向それぞれについて最小値(x min, y min, z min)、最大値(x max,

y max, z max)を求める。そして、

P0 (x min, y min, z min), P1 (x min, y min, z max)

P2 (x min, y max, z min), P3 (x min, y max, z max)

*

$$V0(p, q, r) = V(p, q, r)$$

$$V1(p, q, r) = V(p, q, r+1)$$

$$V2(p, q, r) = V(p, q+1, r)$$

$$V3(p, q, r) = V(p, q+1, r+1)$$

$$V4(p, q, r) = V(p+1, q, r)$$

* P4 (x max, y min, z min), P5 (x max, y min, z max)

P6 (x max, y max, z min), P7 (x max, y max, z max)

の8点を頂点とする空間に対してボクセル分割法を適用する。x軸方向、y軸方向、z軸方向それぞれについて分割数を1、m、n個とユーザーが指定を行なうと、 $V(0, 0, 0), V(0, 0, 1), \dots, V(1-1, m-1, n-1)$ の1×m×n個のボクセルデータを生成する。

【0015】図6はデータ蓄積部3で行なわれる処理を簡単に示したものである。セル発生部2で生成されたボクセルデータのうちx軸方向、y軸方向、z軸方向それぞれについてi番目、j番目、k番目のボクセルデータV(i, j, k)について行なわれる処理について以下説明する(ただし、 $0 \leq i \leq 1-1, 0 \leq j \leq m-1, 0 \leq k \leq n-1$)。図6(a)はボクセルデータV(i, j, k)とボクセルデータV(i, j, k)の内部及び周辺に存在するデータ入力部1において入力された観測レンジデータ20を示している。データ蓄積部3は図6(a)に示すようにボクセルデータV(i, j, k)の内部に観測レンジデータ20が存在する場合、図6(b)に示すようにその内部レンジデータ21をボクセルデータV(i, j, k)に対応づける。もし、ボクセルデータV(i, j, k)の内部に存在する内部レンジデータ21が1個も存在しない場合は、ボクセルデータV(i, j, k)には内部レンジデータ21の対応づけは行なわれない。図6(b)に示すようにボクセルデータV(i, j, k)に複数の内部レンジデータ21が対応づけられた場合、その複数の内部レンジデータ21間で座標値の平均を求め、その求めた平均座標値を持つ1個の平均レンジデータ22を図6(c)に示すようにボクセルデータV(i, j, k)に対応づける。図6に示すような処理をボクセルデータV(0, 0, 0), V(0, 0, 1), ..., V(1-1, m-1, n-1)について同様に行なう。ここで、ボクセルデータに平均レンジデータ22が対応づけられている場合にはそのボクセルデータの属性値を1に、対応づけられていない場合にはそのボクセルデータの属性値を0とする。

【0016】次に、セルパターン認識部4で行なう処理について説明する。図7は、ボクセルデータ間の関係が求められる8個の隣接するボクセルデータを論理的に示したものである。図7に示したボクセルデータV0, ..., V7は、

7

8

$$V5(p, q, r) = V(p+1, q, r+1)$$

$$V6(p, q, r) = V(p+1, q+1, r)$$

$$V7(p, q, r) = V(p+1, q+1, r+1)$$

を示す(ただし、 $0 \leq p \leq 1-2$ 、 $0 \leq q \leq m-2$ 、 $0 \leq r \leq n-2$)。また、ボクセルデータ $V0, \dots, V7$ をボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ で表すことにする。ボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ における各ボクセルデータは、データ蓄積部3における処理が既になされている。ボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ における各ボクセルデータの属性値により発生しうるパターンは図9に示すように(a)~(w)の23パターンである。ただし、8個の隣接ボクセルデータの属性値をx、y、zそれぞれの軸回りに90度の整数倍だけ回転させた時に一致するパターン群は同一に扱うものとして1パターンにまとめている。ボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ のパターンを求めるために図9に示した23通りのパターンと照合を行なう。照合を行なう際にボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ の各ボクセルデータの属性値に回転処理を施してから後に処理を行なう。照合が取れた図9のパターンをボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ の照合パターンとする。このような処理をp、q、rそれぞれについて0...1-2、

0...m-2、0...n-2としたボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ に対して行なう。その後ボクセルデータ群 VG 間において以下のような処理を行なう。ここで、ボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ に対して次のようなデータを定義する。

$$[0017] \text{VSa} = (V0, V1, V2, V3)$$

$$\text{VSb} = (V4, V5, V6, V7)$$

$$\text{VS c} = (V0, V1, V4, V5)$$

$$\text{VS d} = (V2, V3, V6, V7)$$

$$\text{VS e} = (V0, V2, V4, V6)$$

$$\text{VS f} = (V1, V3, V5, V7)$$

これは図7に示した論理的六面体26の各面をボクセルデータ群 $\text{VSa}, \dots, \text{VSf}$ で定義したものである。ボクセルデータ群 VS における各ボクセルデータの属性値により発生しうるパターンは、図8に示すように(a)~(f)の6パターンである。ボクセルデータ群 $\text{VSa}, \dots, \text{VSf}$ に対して図8の6パターンと照合を行ない、照合が取れたパターンをボクセルデータ群 $\text{VSa}, \dots, \text{VSf}$ の照合パターンとする。このような処理をすべてのボクセルデータ群 $VG(p, q, r)$ に対して行なう。よって、セルパターン認識部4の処理によりボクセルデータ群 VG とそれに付随するボクセルデータ群 VS が生成され、それぞれは照合パターンデータを保持する。

[0018] 次にパッチ発生部5で行なう処理について説明する。図10は、図9に示した各パターンに対応して生成する三角パッチ37を模式的に示したものである。図10(a)に示すように図10(a)~(w)の

論理的六面体36の各頂点を $VP0, \dots, VP7$ で表す。以下に、生成する三角パッチ T を各パターンに対して示す。

[0019] (a) ---生成しない。

(b) ---生成しない。

(c) ---生成しない。

[0020] (d) ---生成しない。

(e) ---生成しない。

(f) --- $T(VP1, VP4, VP5)$ 、 $T(VP1, VP5, VP4)$

(g) --- $T(VP0, VP4, VP7)$ 、 $T(VP0, VP7, VP4)$

(h) --- $T(VP2, VP4, VP7)$ 、 $T(VP2, VP7, VP4)$

(i) --- $T(VP0, VP1, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP1)$ 、 $T(VP0, VP4, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP4)$

(j) --- $T(VP0, VP3, VP1)$ 、 $T(VP0, VP1, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP3)$ 、 $T(VP1, VP3, VP5)$

(k) --- $T(VP0, VP2, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP2)$ 、 $T(VP2, VP5, VP7)$ 、 $T(VP2, VP7, VP5)$

(l) --- $T(VP0, VP7, VP1)$ 、 $T(VP0, VP1, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP7)$ 、 $T(VP1, VP7, VP5)$

(m) --- $T(VP1, VP5, VP4)$ 、 $T(VP1, VP2, VP5)$ 、 $T(VP1, VP4, VP2)$ 、 $T(VP2, VP4, VP5)$

(n) --- $T(VP0, VP3, VP5)$ 、 $T(VP0, VP6, VP3)$ 、 $T(VP0, VP5, VP6)$ 、 $T(VP3, VP6, VP5)$

(o) --- $T(VP1, VP4, VP3)$ 、 $T(VP1, VP3, VP5)$ 、 $T(VP1, VP5, VP4)$ 、 $T(VP3, VP4, VP5)$

(p) --- $T(VP0, VP3, VP1)$ 、 $T(VP0, VP1, VP5)$ 、 $T(VP0, VP5, VP4)$ 、 $T(VP0, VP4, VP3)$ 、 $T(VP1, VP3, VP5)$ 、 $T(VP3, VP4, VP5)$

(q) --- $T(VP0, VP3, VP1)$ 、 $T(VP0, VP1, VP5)$ 、 $T(VP0, VP6, VP3)$ 、 $T(VP0, VP5, VP6)$ 、 $T(VP1, VP3, VP5)$ 、 $T(VP3, VP6, VP5)$

(r) --- $T(VP1, VP2, VP3)$ 、 $T(VP1, VP5, VP2)$ 、 $T(VP1, VP3, VP5)$ 、 $T(VP2, VP5, VP6)$ 、 $T(VP2, VP6, VP3)$ 、 $T(VP3, VP6, VP5)$

(s) ...T (VP0, VP3, VP1), T (VP0, VP1, VP5), T (VP0, VP7, VP3), T (VP0, VP5, VP4), T (VP0, VP4, VP7), T (VP1, VP3, VP5), T (VP3, VP7, VP5), T (VP4, VP5, VP7)

(t) ...T (VP0, VP3, VP1), T (VP0, VP1, VP5), T (VP0, VP6, VP3), T (VP0, VP5, VP6), T (VP1, VP3, VP5), T (VP3, VP7, VP5), T (VP3, VP6, VP7), T (VP5, VP7, VP6)

(u) ...T (VP0, VP3, VP1), T (VP0, VP1, VP4), T (VP0, VP6, VP3), T (VP0, VP4, VP6), T (VP1, VP3, VP7), T (VP1, VP7, VP4), T (VP3, VP6, VP7), T (VP4, VP7, VP6)

(v) ...T (VP0, VP3, VP1), T (VP0, VP1, VP5), T (VP0, VP2, VP3), T (VP0, VP4, VP2), T (VP0, VP5, VP4), T (VP1, VP3, VP5), T (VP2, VP7, VP3), T (VP2, VP4, VP7), T (VP3, VP7, VP5), T (VP4, VP5, VP7)

(w) ...T (VP0, VP3, VP1), T (VP0, VP1, VP5), T (VP0, VP2, VP3), T (VP0, VP4, VP2), T (VP0, VP5, VP4), T (VP1, VP3, VP5), T (VP2, VP7, VP3), T (VP2, VP6, VP7), T (VP2, VP4, VP6), T (VP3, VP7, VP5), T (VP4, VP5, VP7), T (VP4, VP7, VP6)

例えば、三角パッチ (VP0, VP1, VP2) は、VP0, VP1, VP2を頂点とする三角パッチを表している。また、VP0, VP1, VP2の順番は、その三角パッチの向きを表している。

【0021】上記のように論理的六面体36において属性値が1のボクセルデータ35の数が3個以上の場合にのみ三角パッチ37を生成するようにする。三角パッチ37の発生させ方は論理的六面体36内においてできるだけ属性値が1のボクセルデータ35間で閉じた多面体を構成するように三角パッチ37を生成する。生成される三角パッチ37の各頂点は、セルパターン認識部4において対応づけられたボクセルデータ群VGの各ボクセルデータが持つ平均レンジデータが用いられる。このようにセルパターン認識部4で生成されたボクセルデータ群VGの照合パターンに従って三角パッチ37が生成される。しかし、生成された閉じた多面体同士が酸化的に境界を境にして隣接する場合、境界の三角パッチは他の三角パッチにより隠れてしまう。図11はそのような状態になる場合の例を示している。図11では隣接する2個のボクセルデータ群VGのパターンが(j)と

(l)の場合であり、隠蔽三角パッチ43により境界をなしている。以下、そのような三角パッチを削除する処理について説明する。上記に述べた隠れる三角パッチが発生するのは、互いに隣接しているボクセルデータ群VGのパターンがそれぞれ、

(l), (l), (m), (o), (p), (q), (r), (s), (t), (u), (v), (w)

の内のいずれかの場合のみである。互いに隣接しているボクセルデータ群VGのそれぞれのパターンがいずれも

上記の12パターン之内であり、かつ、互いに隣接しているボクセルデータ群VGの隣接面に存在するボクセルデータ群VSのパターンが図8の(e)または(f)の場合においては、そのボクセルデータ群VS内のみで生成される三角パッチを削除する。ボクセルデータ群VGに付随するボクセルデータ群VSのパターンは、既にセルパターン認識部4により認識処理が行なわれ照合パターンデータが図8のパターン(e)または(f)であるかを判定することは容易である。上記のような処理を行なうことにより、すべてのボクセルデータ群VGから生成した三角パッチから他の複数の三角パッチにより完全に隠れてしまう三角パッチを取り除く。また、図12に示すように互いに隣接するボクセルデータ群VGのそれぞれのパターンが(f)と(f)のような場合、それぞれのボクセルデータ群VGにより重複三角パッチ48を2個生成してしまうので、余分なデータが増えてしまう。このような状況は、隣接するボクセルデータ群VGのそれぞれのパターンが(i)と(i)の場合にも発生する。このように余分な三角パッチを発生させる場合、一方のボクセルデータ群により発生させられた三角パッチを削除するような処理を行なう。以上のように、パッチ生成部5ではセルパターン認識部4で認識されたボクセルデータ群VG、VSのパターンに基づき、被測定物体の表面形状を復元する三角パッチを生成する。

【0022】形状データ6は、パッチ発生部5の処理により生成された被測定物体の表面形状を復元する三角パッチデータである。ここで三角パッチ発生部5の、不要な三角パッチの削除処理の他の例を説明する。

【0023】論理的六面体において閉じた多面体を生成する本発明の性質上、パッチ発生部5が図13のように、ある三角パッチの辺70に隣接して複数の三角パッチ71~74を生成させるなど被測定物体上の表面において厚みのある面(図14の被測定物体53上の表面を反映する表面54と冗長な内面である非表面55)を生成してしまう。そこで、冗長な三角パッチを削除する処理をパッチ発生部5に加える。隣接するパッチ間の向きが同調するようにパッチ間を連結し、不適当なパッチは削除するものである。ここで、図15を用いて向きの同調している意味を説明する。三角パッチtr[p], tr[q]は、vrtx[a]とvrtx[c]から成るline[s]を共有する。このときtr[p], tr[q]は、隣接するという。また、

tr[p], ts[q] はそれぞれ向き (vrtx[a] → vrtx[b] → vrtx[c]), (vrtx[a] → vrtx[c] → vrtx[d]) を持つ。パッチ間の向きが同調しているということは、隣接するパッチの向きが共有する辺において互いに逆を向いていることを意味する。図15の場合には、共有する辺line[s]においてtr[p], ts[q]の向きはそれぞれ(vrtx[c] → vrtx[a]), (vrtx[a] → vrtx[c])となり互いに逆方向を向いているので、tr[p], tr[q]は向きが同調している。パッチの向きはパッチを構成する頂点の順番で表され、すなわちこれはパッチの法線ベクトルの向きを決定するので、パッチ間の法線ベクトルの向きを揃えることになる。また、1個のパッチに複数のパッチが隣接する場合がある。再構成される形状は各三角パッチの各辺に対して最大1個の三角パッチが連結されるべきなので、複数個隣接する場合は適切なパッチを1個連結、又は適切なパッチが存在しないときは連結しないようにする。図16(a)は、tr[p]にtr[q], tr[r]の2個のパッチが隣接する場合を示したもので、tr[q], tr[r]は、tr[p]に対して向きが同調している。そこで、tr[q], tr[r]のうちのいずれか1個のパッチをtr[p]に連結させる。図16(b)は、図16(a)を1次元的に示したものである。tr[p]とtr[q], tr[r]がなす角度をそれぞれ θ_q , θ_r とすると、 $\theta_q > \theta_r$ のときtr[r]をtr[p]に連結する。

【0024】図17は、最終データを生成する処理のフローチャートを示している。処理の手順はまず、正しいと思われる初期パッチを1個決め連結元パッチとする(ステップ201)。初期パッチは、次の関数fを最大にするような三角パッチtr[p]とする。ただし、tr[p]の3頂点を v_0 , v_1 , v_2 とする。

【0025】

【数1】

$$\begin{aligned} f(\text{tr}[p]) = & -x_0^2 - y_0^2 + z_0 \\ & -x_1^2 - y_1^2 + z_1 \\ & -x_2^2 - y_2^2 + z_2 \end{aligned}$$

(x_0, y_0, z_0): v_0 の3次元座標値

(x_1, y_1, z_1): v_1 の3次元座標値

(x_2, y_2, z_2): v_2 の3次元座標値

関数fは、3頂点の座標値がx, y軸方向の座標値ができるだけ0に近く、z軸方向の座標値ができるだけ大きくなるような三角パッチに対して大きな値をとる。これは、レンジファインダからできるだけ近くまたxy平面上の原点すなわち被測定物体の重心付近の領域にあるパッチは観測時におけるオクルージョンの影響を受けづらく、形状を再構成するにおいて信頼できるパッチであるという考えに基づいている(ただし、統合座標系を上記の考えに当てはまる様に設定する)。関数fを用いて求

めた連結元パッチに隣接するパッチのうち連結元パッチと向きが同調するものが存在するとき上記で述べたように適切なパッチを連結元パッチに連結する(ステップ202~205)。同調するパッチが存在しないときは、パッチは連結されない。この連結処理を連結元パッチの3辺すべてに対して行なう(ステップ206)。連結元パッチの3辺に対して以上の処理が終ると、連結されていて連結処理が行なわれていない辺があるパッチを連結元パッチとする(ステップ207)。そして、この連結元パッチの連結されていない辺に対して連結処理を行なう。このような処理を連結されていて連結処理が行なわれていない辺を持つパッチが無くなるまで再帰的に繰り返す。よって、最終的にどのパッチにも連結されなかったパッチは不適切なものとして削除される。

【0026】得られたレンジデータが被測定物体の表面全体をカバーしていれば、上記の処理を行なうことにより、表面形状を再構成する閉じた三角パッチ群を生成できる。しかし、観測が不十分のために得られたレンジデータが表面全体をカバーしきっていない場合には、正しい三角パッチ群を得ることができない。図18は、一連の処理の様子を2次元で表したものである。図18(a)は、被測定物体の表面56を線分で示したものである。図18(a)の被測定物体を複数方向から観測し、パッチを生成したのが図18(b), (c)である。実線は表面パッチ57を、破線は非表面パッチ58を示している。未観測領域が生じないように観測が行なわれたとき、ボクセルデータVGの照合パターンにより生成される三角パッチ群は図18(b)のようになる。表面パッチ57と非表面パッチ58が分離しているので上記で述べたパッチの連結処理により図18(d)のように物体の形状を再構成できる。図18(c)は、被測定物体の上部において未観測領域が生じた場合にボクセルデータVGの照合パターンにより生成される三角パッチ群を示している。このとき表面パッチ57と非表面パッチ58は隣接しているので、パッチの連結処理を行なっても非表面パッチを削除できず、最終的に生成される最終三角パッチ59は図18(e)のように物体表面以外のパッチ群も含んだものとなる。

【0027】そこで、物体表面以外のパッチ群の連結を避けるために隣接する表面パッチと非表面パッチ間の稜線を表面パッチ境界線とすることにより、連結が非表面パッチに及ばないようにする。表面パッチ境界線の指定はボクセルデータVGの照合パターンにより生成される三角パッチ群を表示し、オペレータが表面パッチ境界線と思われる三角パッチの辺を表示画面上で指定することで達成される。表面パッチ境界線は未観測領域と観測領域との間の境界を示すものなので、必ず閉じた線分としなければならない。もし、指定が不十分で開いた線分だと表面パッチ境界線が指定されていない隣接する表面パッチと非表面パッチが生じ、表面パッチと非表面パッチ

が連結されてしまう。したがって、表面パッチ境界線が閉じた図形となっているかを指定された境界線を追跡して判別し、作業が完了したか否かをオペレータに表示、または音声などで知らせる。このように指定された表面パッチ境界線は、最終データの生成処理における隣接パッチとの同調性チェックの際に連続元パッチのある辺が表面パッチ境界線であるとき、その辺に対しては同調するパッチは無いものとしてパッチの連結は行なわない。図19は、立方体を観測した際に未観測領域60が発生した場合を示している。立方体を観測したとき未観測領域60が図19(a)のように上部の面に生じた場合、図19(b)の太線で示した表面パッチ境界線61を表面パッチ62と非表面パッチ群63の境界として指定する。このように指定を行なった三角パッチ群に対して上記述べた連結処理を施すと図19(c)に示すように表面パッチのみで構成される三角パッチ群が生成される。以上、未観測領域が生じたときでも被測定物体の形状を復元できる。

【0028】なお、本発明は、以上説明した実施例に限定されるものではない。例えば、データ蓄積部3の処理に関して、上述においてはボクセルデータ $V(i, j, k)$ に対応づけられた複数の内部レンジデータの座標値間を単に平均して求められた座標値を平均レンジデータとしてボクセルデータ $V(i, j, k)$ に対応づけだが、座標値間の重み付け平均値を平均レンジデータとしてボクセルデータ $V(i, j, k)$ に対応づけることも可能である。以下、その方法を説明する。データ入力部*

$$p_e = w_t(a) * p_a + w_t(b) * p_b + w_t(c) * p_c$$

で与えられる。したがって、データ処理部3において、平均レンジデータの3次元座標値を各観測レンジデータに重み付けを行なうことにより求める方法も本発明に含まれる。

【0031】また、上記で述べた実施例では、ボクセルデータへの対応づけを単に観測されたレンジデータがボクセルデータ $V(i, j, k)$ の内部に存在するか否かにより行なったが、この方法に限定されるものではない。別の方法を以下に説明する。ある方向からのレンジデータを、その点列間の幾何的位相関係が既知になるように観測されたものとする。例えば、図20のように横方向に $i=0, 1, 2, \dots$ 縦方向に $j=0, 1, 2, \dots$ と幾何的に被測定物体上の隣接点を観測するようにする。このときある観測方向 θ のレンジデータにおいて各点列間の幾何的位相関係は既知となり、図21のように三角パッチを発生することができる。すなわち、 $\{i, j\}$ 番目、 $\{i+1, j\}$ 番目、 $\{i+1, j+1\}$ 番目、 $\{i, j+1\}$ 番目に観測された隣接する4個の点列から三角パッチを発生させる。このように各方向について観測されたレンジデータから三角パッチを発生させたデータをデータ入力部1に入力する。以上のように入力されたデータによるデータ蓄積部3における処理は、次の

*1に入力される観測レンジデータを r_0, r_1, \dots とすると各観測レンジデータが観測された際のレンジファインダの観測位置とレンジデータとの距離をそれぞれ観測距離 d_0, d_1, \dots とする。このような観測距離を保持する観測レンジデータをデータ入力部1に入力する。この時、データ蓄積部3においてボクセルデータ $V(i, j, k)$ に内部レンジデータ r_a, r_b, r_c が対応づけられたとする。また、内部レンジデータ r_a, r_b, r_c の3次元座標値をそれぞれ p_a, p_b, p_c とし、観測距離はそれぞれ d_a, d_b, d_c である。各内部レンジデータの重みづけ値をそれぞれ $w_t(a), w_t(b), w_t(c)$ とし、それぞれを次のように定義する。

【0029】

【数2】

$$w_t(a) = d_c / (d_a + d_b + d_c),$$

$$w_t(b) = d_b / (d_a + d_b + d_c),$$

$$w_t(c) = d_a / (d_a + d_b + d_c)$$

ただし、 $d_a > d_b > d_c$ とする。よって、観測距離が小さい値であるほど観測レンジデータの信頼性が高いものとして、観測距離が小さい値であると内部レンジデータほど大きな重み付けを行なう。平均レンジデータの3次元座標値 p_e は、

【0030】

【数3】

ようにする。ボクセルデータへの対応づけは上記で発生させた三角パッチとボクセルデータの空間的交差を調べ、ある三角パッチがボクセルデータ $V(i, j, k)$ と交差していると判断されるとボクセルデータ $V(i, j, k)$ にその三角パッチを対応付ける。対応づけが行なわれたボクセルデータ $V(i, j, k)$ は、平均レンジデータとしてボクセルデータ $V(i, j, k)$ の六面体の8頂点の重心点が対応づけられる。このようにボクセルデータへの対応づけを三角パッチで行なうことによりレンジデータがボクセルの解像度より低い場合でも穴の生じない形状データを生成することができ、その利便性が一層向上する。

【0032】

【発明の効果】本発明によれば、被測定物体を観測して得られた3次元座標値を、幾何的位相関係が既知である各ボクセルデータに対応付けることにより、被測定物体の表面の形状データを作成できる。従って従来では必要とされていた3次元座標値の測定順序の制約を取り除くことができると共に、複雑な形状の物体に対しても高精度に表面の形状データを得ることができる。更にボクセルデータの大きさを任意に変えることにより、観測した3次元座標値を忠実に反映した高解像度形状データから

データ量の少ない低解像度形状データまで所望の精度の形状データを作成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例の概略構成図。

【図2】 本発明の実施例の処理内容を説明した図。

【図3】 本発明の実施例の処理フローチャート。

【図4】 本発明の実施例によるデータ入力部の処理内容を説明した図。

【図5】 本発明の実施例によるセル発生部の処理内容を説明した図。

【図6】 本発明の実施例によるデータ蓄積部の処理内容を説明した図。

【図7】 8隣接ボクセルデータを説明した図。

【図8】 隣接ボクセルデータ群V Sの各ボクセルデータの属性値によるパターンを示す図。

【図9】 隣接ボクセルデータ群V Gの各ボクセルデータの属性値によるパターンを示す図。

【図10】 図9の各パターンに対応して発生させる三角パッチを示す図。

【図11】 他の三角パッチにより隠れる三角パッチが発生する状態を示す図。

【図12】 重複三角パッチが発生する状態を示す図。

【図13】 複数の三角パッチが隣接する状況を示す図。

【図14】 厚みのある面の生成例を示す図。

【図15】 三角パッチ間の向きに関する同調性を示す図。

【図16】 三角パッチ間の連結処理を説明した図。

【図17】 三角パッチに対する連結処理のフローチャート。

【図18】 未観測領域が生じたときのパッチ発生を説明した図。

【図19】 未観測領域が生じた場合に連結処理を行な*

ったときのパッチ発生例を示す図。

【図20】 幾何的に測定された3次元座標値を示す図。

【図21】 図20の3次元座標値から三角パッチを発生した状態を示す図。

【図22】 従来の形状復元方法を示す図。

【符号の説明】

1…データ入力部

2…セル発生部

10 3…データ蓄積部

4…セルパターン認識部

5…パッチ発生部

6…形状データ

7、14、15、20…観測レンジデータ

8、18、19、23、24、25…ボクセルデータ

9…三角パッチデータ

10、11、12、49…レンジファインダ

13、50、53…被測定物体

16…観測レンジデータ包含空間

17…観測レンジデータ包含空間頂点

21…内部レンジデータ

22…平均レンジデータ

26、33、36、40、41、46、47…論理的六面体

28、31、34、38、44…属性値0のボクセルデータ

29、32、35、39、45…属性値1のボクセルデータ

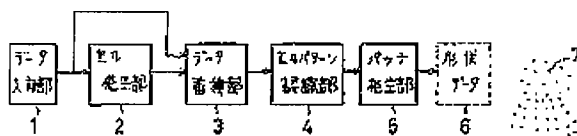
30…論理的四角形

30 37、42…三角パッチ

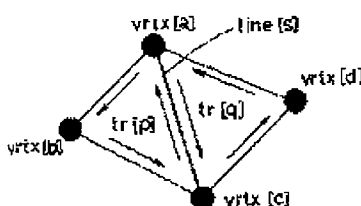
43…隠蔽三角パッチ

48…重複三角パッチ

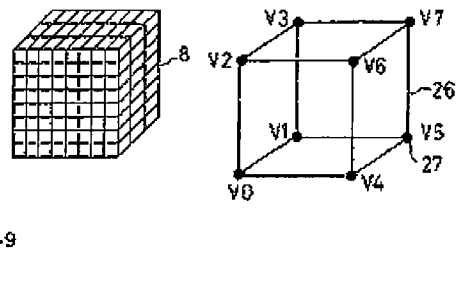
【図1】



【図15】

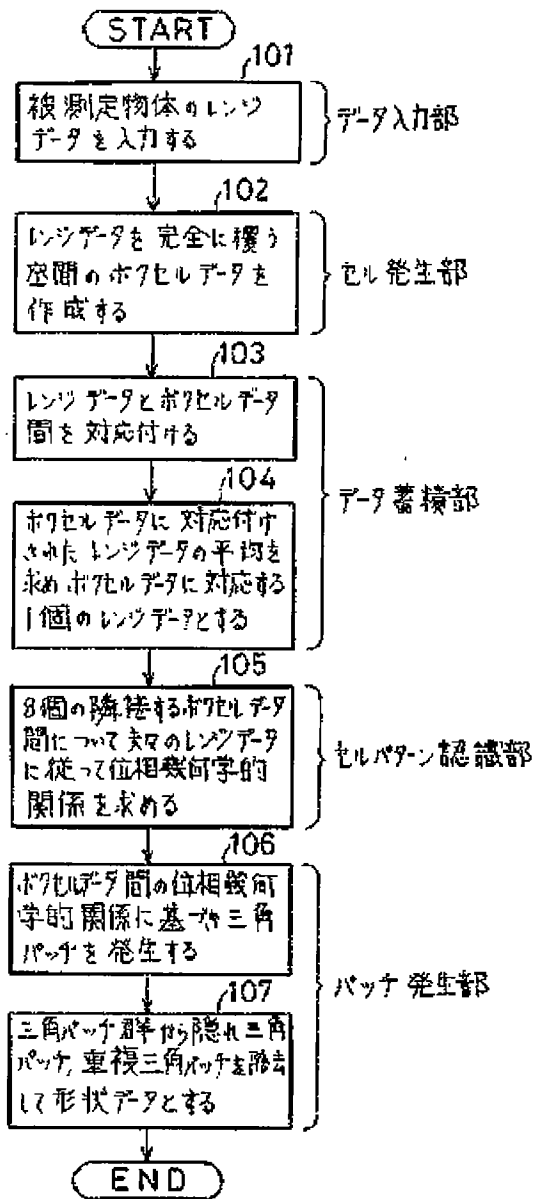


【図2】

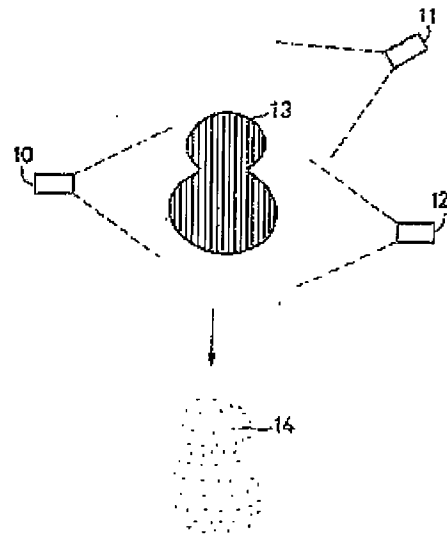


【図7】

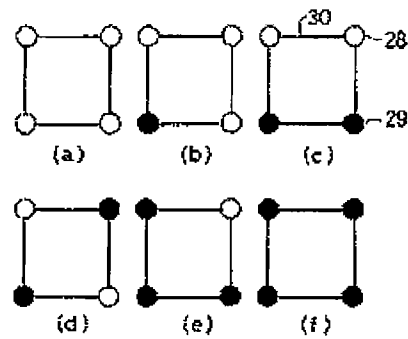
【図3】



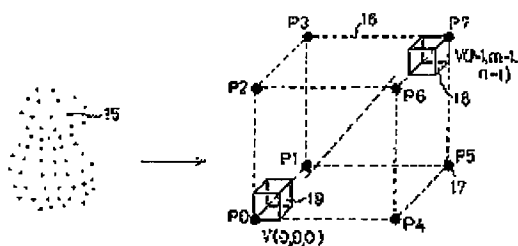
【図4】



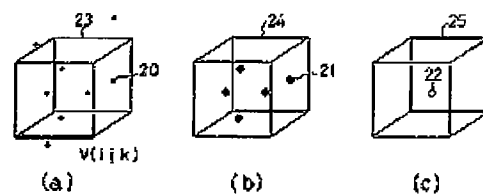
【図8】



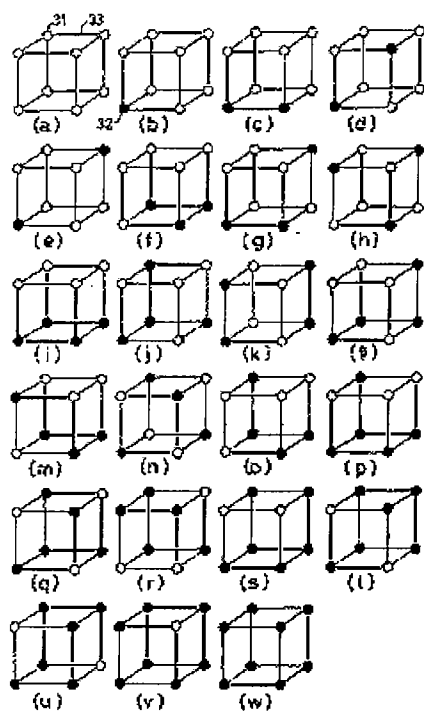
【図5】



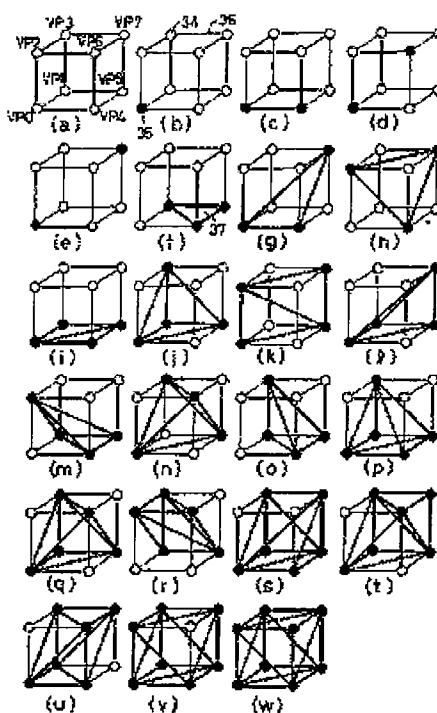
【図6】



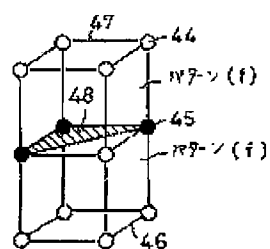
【図9】



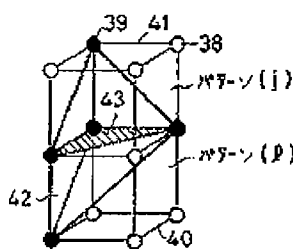
【図10】



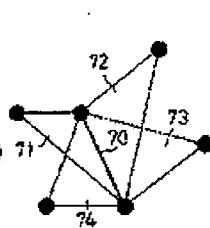
【図12】



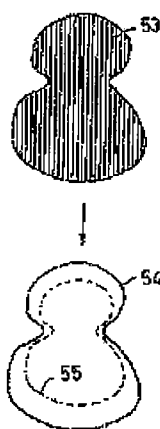
【図11】



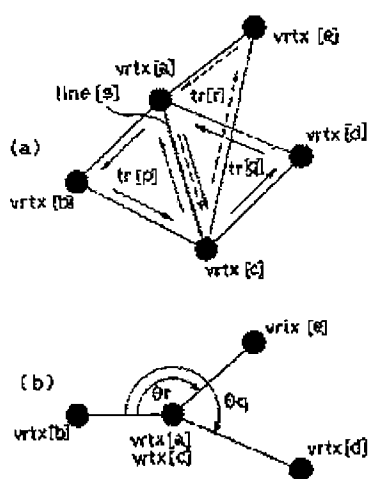
【図13】



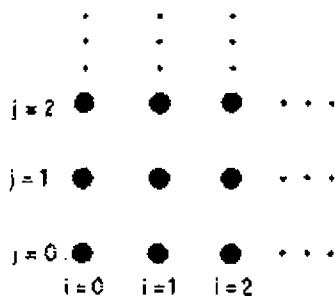
【図14】



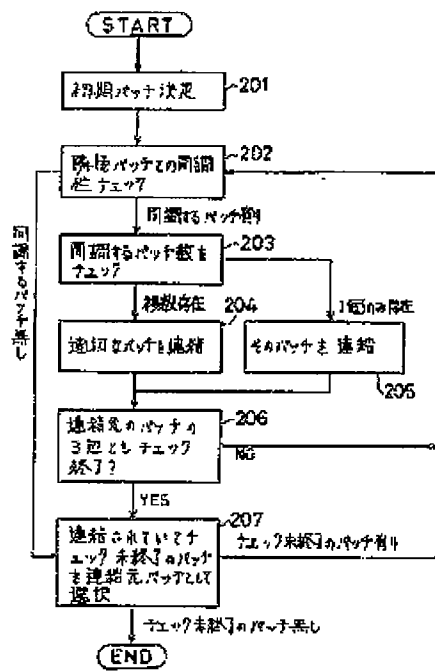
【図16】



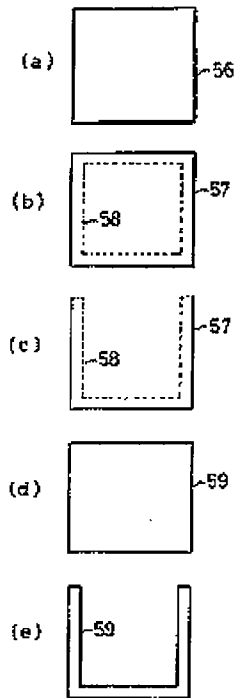
【図20】



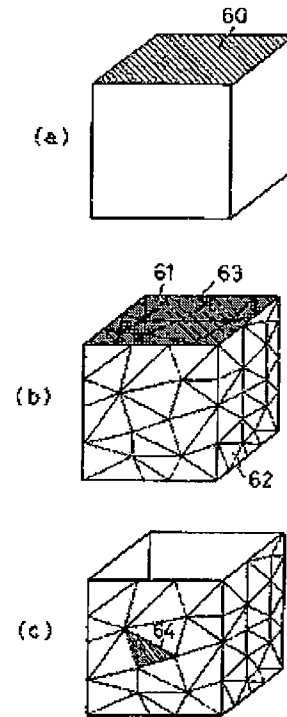
【図17】



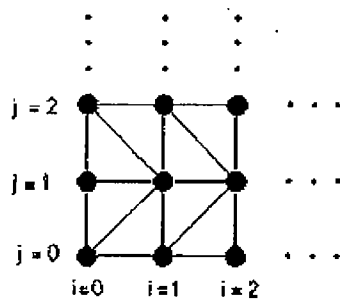
【図18】



【図19】



【図21】



【図22】

